

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СОВРЕМЕННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Л. И. ГАНДЖА

Послевоенный период времени характерен значительным изменением технологии металлообработки на отечественных предприятиях и в связи с этим возросшим выпуском специальных металлорежущих станков. В ближайшие годы должен значительно возрасти типаж таких станков, как автоматы и полуавтоматы, прецизионные, токарные с высотой центров до 1,5 м, тяжелые прутковые, четырехшпиндельные токарные полуавтоматы, тяжелые карусельные, расточные, строгальные с шириной стола до четырех метров и т. д.

Потребность в обеспечении великих строек коммунизма ставит перед станкостроительной промышленностью весьма ответственную задачу: освоить в ближайшее время выпуск тяжелых уникальных станков, каковы продольно-строгальные с длиной стола до 15 м, карусельные с диаметром обрабатываемой детали до 7 м, расточные и другие.

Типизация станков, которые должны быть освоены в ближайшие годы, в основном определяется следующими обстоятельствами.

1. Широкое внедрение автоматических станочных линий, которые должны быть освоены и в прочих отраслях промышленности, кроме автостроения. Статистика показывает, что внедрение автоматических станочных линий сокращает количество рабочих в 5 раз и увеличивает производительность более чем в 7 раз.

2. Широкий переход в металлообработке на высокие скорости резания. Применение твердых сплавов для режущего инструмента опрокинуло нормативы в машиностроении и позволило повысить скорости резания до 700 м в минуту, то есть более чем в 10 раз.

В связи с изложенным можно считать, что станкостроение стало на путь создания новых конструкций с повышенными скоростями, мощностями и жесткостью. Происходит, по существу, полное обновление станочного парка. Новые задачи в области станкостроения требуют от конструкторов разрешения ряда серьезнейших вопросов, основные из которых сводятся к следующему.

1. Опыт показывает, что дальнейшее сокращение машинного времени при обработке уже не ведет к увеличению производительности. Последняя ограничивается теперь вспомогательным временем. Поэтому необходимо создание на станке таких органов, конструктивных узлов, которые дали бы значительное повышение производительности за счет сокращения вспомогательного времени.

2. Опыт эксплуатации показывает, что количество простоев и связанное с ними уменьшение производительности по вине электрооборудования станка оценивается величиной менее 1%. Поэтому конструктивная проработка станка должна быть направлена, главным образом, на устранение возможных при эксплуатации простоев, связанных с неполадками механической части станка.

3. Переход на высокие скорости обработки требует создания таких конструкций в станкостроении, в которых была бы устранена возможность возникновения вибраций при большой скорости вращения шпинделя.

4. Возможность возникновения вибраций при высоких скоростях резания требует разрешения вопроса о бесступенчатом, непрерывном регулировании скорости. Здесь можно идти по линии создания непрерывного регулирования от электрического и гидравлического приводов, а также создания надлежащей механической конструкции. Однако все преимущества по части непрерывного регулирования остаются, очевидно, за электроавтоматикой.

5. При высоких скоростях вращения шпинделя потери холостого хода станка настолько сильно возрастают, что к. п. д. станка резко снижается. В целях повышения последнего требуется, очевидно, ещё большее упрощение кинематики станка. Вместе с этим требует разрешения и вопрос о рациональном типе смазки.

6. Контроль рабочего над процессом обработки и воздействие его на отдельные механизмы в тяжёлых, уникальных станках должны быть максимально упрощены. Достичь этого при помощи механических связей органов станка с постом управления практически невозможно. Удачное решение вопроса в этой части может быть достигнуто только за счёт дальнейшего развития электроавтоматики.

В свете изложенного и электрический привод современных металло-режущих станков должен в значительной степени измениться, так как нельзя говорить о сколько-нибудь удачной конструкции станка без учёта свойств его привода; новые требования к механической части станка неизбежно выдвигают и новые требования к его электрическому приводу.

Здесь следует прежде всего отметить тенденцию к еще более глубокому развитию многодвигательного электропривода. Стремление в наибольшей степени упростить кинематику станка сопровождается ростом числа электрических двигателей, применяемых для привода отдельных узлов такового. Количество электрических машин возрастает ещё и в связи с тем, что требование непрерывного регулирования скорости заставляет применять электромашинные усилители с поперечным полем, регулирующие возбудители, генераторы и т. д.

В качестве общей характеристики электроприводов современных станков можно указать на следующие примеры.

1. Продольно-строгальный станок модели 7288Ф имеет до 23 электрических машин с автоматическим управлением. Главный электропривод этого станка имеет мощность 150 *квт*, а общая установленная мощность всех вспомогательных электрических машин составляет около 230 *квт*.

2. Тяжёлый расточный станок, предназначенный для расточки изделий диаметром до 7 м и одновременного сверления и шлифования изделия, оснащён двенадцатью индивидуальными электроприводами общей установленной мощностью около 200 *квт*.

3. Уникальный, бесцентровый токарный станок, предназначенный для обработки трубных заготовок весом до 3000 кг при длине 5500 мм и диаметре до 360 мм и оснащённый двигателем главного привода мощностью 220 *квт* и 26 электродвигателями переменного тока общей установленной мощностью около 200 *квт*.

В тяжёлых станках кинематика может быть значительно упрощена за счёт отказа от ходовых винтов и валов и за счёт замены их синхронно-следящими устройствами. Так, на мощном токарно-винторезном станке 1500 × 30000 мм необходимая связь между винторезным суппортом и планшайбой осуществлена при помощи специальной электрической силовой синхронной передачи мощностью около 2 *квт*, включающей измерительные сельсины (датчик и приёмник), электронное устройство для измерения угла между сельсинами и исполнительный электропривод. Экспери-

ментальное исследование этой системы показало хорошую работу её как в статических, так и в динамических режимах.

При помощи синхронно-следящей системы разрешен также вопрос и о приводе подачи на токарном станке типа 1682.

Переходя к общей характеристике приводов главного и вспомогательных движений, необходимо отметить следующее. Привод шпинделя осуществляется по системе генератор-двигатель при достаточно широких пределах регулировки скорости и при низких абсолютных скоростях резания, таковы: привод расточного станка, требующего регулировки скорости в пределах 1:20, привод стола продольно-строгального станка, требующего регулировки скорости в пределах 1:10 и др. Если пределы регулирования скорости значительно меньше (1:3 до 1:4), то в качестве привода может быть применён двигатель с независимым возбуждением, с регулировкой скорости изменением магнитного потока. Такой привод осуществляется в некоторых карусельных станках наряду с двумя—тремя механическими ступенями регулировки скорости.

При низких скоростях резания до 60 м/мин назначение наивыгоднейшего режима резания имеет существенное значение с точки зрения производительности станка, почему и получила широкое распространение система генератор-двигатель при регулировке в диапазоне до 1:20.

Иначе обстоит дело при высоких скоростях резания порядка 700 м/мин. То же самое абсолютное значение изменения скорости при высоких скоростях резания имеет малую относительную величину и уже практически не влияет на производительность станка. В связи с этим необходимость в широкой регулировке скорости шпинделя в ряде случаев может отпасть, и с этой точки зрения весьма вероятно применение в качестве привода шпинделя асинхронного двигателя вместо системы генератор-двигатель. Повятно, что в каждом отдельном случае целесообразность той или иной системы привода должна быть тщательно доказана. Таким образом, при переходе на высокие скорости резания электрический привод главного движения может быть значительно упрощен.

Противоположные тенденции наблюдаются в системах электропривода подачи. При той же самой мощности станка величина подачи должна уменьшаться при увеличении скорости резания, а так как скорость перемещения вспомогательных механизмов в холостую и при наладочных режимах должна быть наибольшей для уменьшения вспомогательного времени, естественно ожидать, что диапазон регулировки скорости механизмов подачи должен быть значительно расширен при переходе на высокие скорости вращения шпинделя. Эта тенденция и наблюдается в новейших станках, в которых диапазон регулировки скорости подачи по системе генератор-двигатель имеет значения 1:80, 1:100, 1:200 и достигает даже значения 1:2000 при комбинированной регулировке скорости по системе генератор-двигатель.

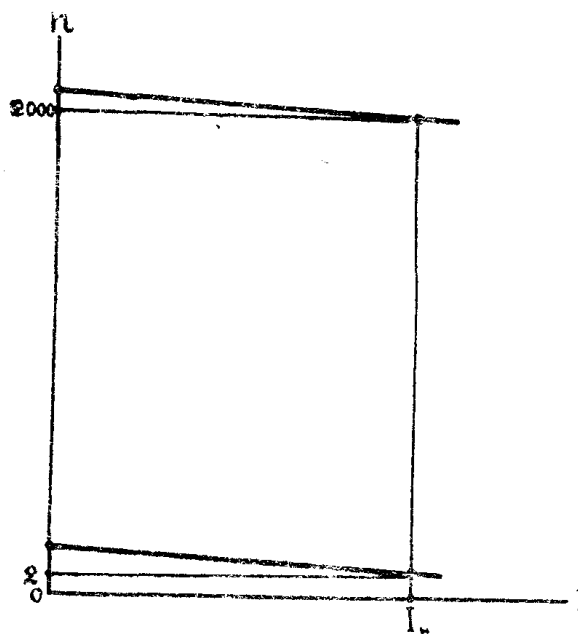
Достичь таких широких пределов регулировки скорости стало возможным за счёт усложнения схем автоматического управления двигателями подачи. Сложность этих схем объясняется необходимостью точной стабилизации скорости двигателя подачи при работе с малыми скоростями. На фиг. 1 представлена естественная механическая характеристика двигателя с независимым возбуждением, применяемого в качестве привода механизмов подачи и управляемого по системе генератор-двигатель.

Указанная характеристика, выражаемая уравнением

$$n = \frac{U_n}{C'_e \cdot \Phi_n} - \frac{I \cdot r_\partial}{C'_e \cdot \Phi_n}, \quad (1)$$

предполагает постоянство r_∂ , U_n и Φ_n при изменениях тока нагрузки I и является в известной мере идеализированной, поскольку уравнение (1)

не учитывает изменения r_d с ростом температуры обмоток двигателя при нагрузке, реакции якоря и т. д. При высоких скоростях двигателя при работе на естественной характеристике отклонения n от естественной характеристики, обусловленные непостоянством r_d , Φ_n и U_n , практически настолько незначительны, что не требуют учёта. Поэтому при высоких скоростях характеристика (1) может считаться весьма жёсткой, так как



Фиг. 1

падение скорости, обусловленное омическим падением напряжения и выражаемое вторым членом уравнения (1), имеет малую относительную величину. Иное наблюдается при глубокой регулировке скорости и при работе двигателя с малыми скоростями. Если привод подачи имеет диапазон регулирования 1:1000 (фиг. 1), то при работе на низшей скорости он будет работать со скоростью 2 об/мин в случае, если его номинальная скорость равна 2000 об/мин.

При такой низкой скорости всякие незначительные отклонения U_n , r_d и пр. от заданных значений сильно изменят заданную низшую скорость, что может оказаться недопустимым с точки зрения точности работы двигателя подачи.

Таким образом, при глубокой регулировке скорости двигателя схемы управления должны автоматически компенсировать всякие отклонения параметров уравнения (1) от заданных, то есть должны представлять собой систему автоматического регулирования с характерными для неё регуляторами, обратными отрицательными связями и т. д.

Поскольку точность стабилизации скорости двигателя зависит в первую очередь от напряжения на щётках генератора системы генератор-двигатель, а последнее меняется за счёт падения напряжения в обмотке якоря генератора с изменением тока нагрузки, за счёт гистерезиса и за счёт падения напряжения в щёточном контакте, зависящего от скорости, то такая система автоматического регулирования должна иметь обратные связи по напряжению генератора, по петле гистерезиса и по падению напряжения на щётках. Кроме того, должна быть предусмотрена обратная связь для компенсации изменения r_d с ростом температуры обмотки двигателя, а в ряде случаев и обратные связи по току и скорости двигателя в случае необходимости поддержания заданных значений указанных величин. Следует иметь в виду, что расширение диапазона регулировки в указанных выше пределах возможно путём уничтожения остаточного магнетизма генератора, который ограничивает диапазон регулировки. Достигается это, как известно, применением особых мостовых схем возбуждения генератора системы генератор-двигатель с включением в диагональ моста якоря регулирующего возбуждателя.

Наличие перечисленных выше обратных связей и элементов мостовых схем является характерным для современных систем автоматического регулирования двигателей механизмов подач. В качестве регуляторов, применяемых в системах автоматического регулирования привода подач, нашли широкое применение регулирующие возбуждители и электромашинные усилители с поперечным полем (ЭМУ).

Далее для удобства обслуживания станков оказывается необходимым сосредоточить управление механизмами в том месте, где находится рабочий. У тяжелых токарно-винторезных и карусельных станков таких точек, с которых должно производиться управление станком, бывает несколько; иногда даже управление станком выносится на планшайбу (карусельные станки). Во всех этих случаях необходимо большое количество троллей для передачи команд с поста управления к двигателю, что, во-первых, значительно усложняет схему и, во-вторых, создает в схеме управления уязвимые при эксплуатации участки. В связи с этим наблюдается тенденция к переходу на такие схемы управления, которые позволяли бы производить передачу до десяти команд по двум—трем проводам.

Другим типом привода, получившим надлежащее развитие и позволяющим иметь механические характеристики надлежащей жёсткости и устойчивое регулирование в диапазоне до 1:80, является ионный привод—ЭЛИР (электронно-ионный регулятор). Этот привод позволяет получить как жёсткие механические характеристики, так и характеристики экскаваторного типа, обеспечивает постоянство силы тока как при работе привода, так и при его пуске. Несомненно, что этот тип привода имеет большое будущее, и его дальнейшее совершенствование должно осуществляться по линии разработки приводов средней и большой мощности, а также по линии создания ионных приводов с применением игнитронов и ртутных выпрямителей. Следует отметить, что применение этого привода в значительной мере ограничивается недостаточным качеством ионно-электронной аппаратуры (газотроны и тиратроны) в части её долговечности.

Довольно широкое применение в металлорежущих станках должен получить асинхронный коротко-замкнутый двигатель с повышенным скольжением. Он с успехом может быть применён в следующих случаях.

1. Для привода винторезных автоматов, отличающихся большой частотой включений и реверсов.

Применение двигателя с повышенным скольжением здесь целесообразно в целях уменьшения пусковых потерь и облегчения теплового режима двигателя.

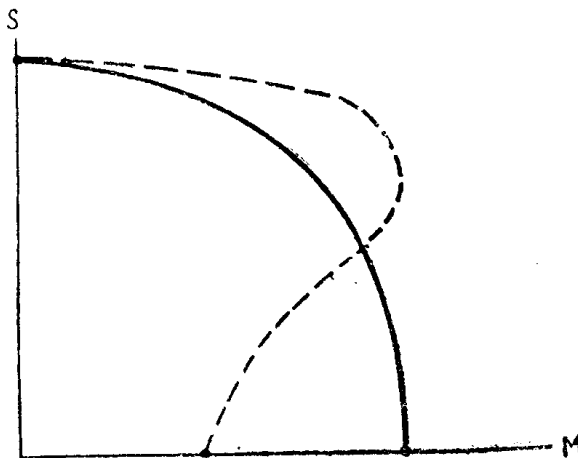
2. Для привода высокопроизводительных станков, у которых требуется сократить время пуска и реверса.

3. Для привода вспомогательных механизмов металлорежущих станков, требующих относительно большого пускового момента или работающих на „упор“ (зажим колонны в радиально-сверлильных станках).

4. Когда требуется повысить устойчивость работы электропривода при ожидаемых толчках нагрузки и колебаниях напряжения.

Для выполнения последнего условия желательна механическая характеристика двигателя вида, представленного на фиг. 2.

Для двигателя с повышенным скольжением, имеющего подобную характеристику, следует признать в известной степени целесообразным и способ регулировки скорости двигателя изменением напряжения, подведённого к статору. У подобной механической характеристики отсутствует ветвь неустойчивой работы, поэтому исключается возможность „опрокидывания“ двигателя при снижении напряжения. В качестве аппарата, по-



Фиг. 2

нижающего напряжение на статоре при питании двигателя от сети с постоянным напряжением, может быть применён дроссель насыщения.

Наконец, следует отметить, что в связи с переходом на высокие скорости резания исключительно широкое применение должен получить асинхронный двигатель, питаемый током высокой частоты.

В настоящее время нашей электромашиностроительной промышленностью освоен асинхронный двигатель на 18000 *об/мин* мощностью от 1,5 до 3,5 *квт*. Основную сложность при дальнейшем повышении скорости представляет выполнение опор, так как серийно выпускаемые шарикоподшипники пригодны для скоростей 25000—30000 *об/мин*. Однако работы ЭНИМС'а показали, что при скоростях до 50000 *об/мин* вполне могут быть применены радиально-упорные подшипники с текстолитовым сепаратором серии 6000. Двигатели от 0,5 до 1,5 *квт*, изготовленные ЭНИМС'ом на таких подшипниках, надёжно работают в производственных условиях при 50000 *об/мин*.

Освещённые выше основные тенденции развития электропривода современных металлорежущих станков ставят целый ряд серьёзных задач и перед общей теорией электрического привода. Теория электропривода должна удовлетворить насущные потребности практики в области дальнейшего углублённого исследования многодвигательных приводов, разработать теорию переходных режимов систем с широкой регулировкой скорости. При этом, помимо механической и электромагнитной инерции электропривода, должна уже учитываться и тепловая инерция привода, что, как это было показано выше, очень важно на низших пределах регулировки скорости. В области электропривода должны вестись и дальнейшие более углублённые работы в части теории устойчивости сложных электромеханических систем. Последние вопросы следует считать особо актуальными, так как без теории автоматического регулирования и без теории устойчивости в настоящее время невозможно правильно конструировать современные сложные, многодвигательные электромеханические системы. Исследования в этой области должны касаться главным образом нелинейных систем.

Особое внимание должно быть также уделено и дальнейшей разработке теории электромашинных усилителей как с самовозбуждением, так и с поперечным полем, а также изысканию новых форм электромашинных усилителей. Электромашинные усилители находят уже широкое применение в электромеханических системах автоматического регулирования, между тем ещё далеко не всё сделано для ясного понимания тех электромагнитных процессов, которые в них протекают.
